



## Nanosilika dari Prekursor Silika Geotermal: Pengaruh Konsentrasi Surfaktan dan Dekomposisi Termal Pasca Sintesis

Kirana Dipta Rakhmasari<sup>1\*</sup>, Indra Perdana<sup>1</sup>, Agus Prasetya<sup>1</sup>, dan Bidhari Pidhatika<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada  
Jl. Grafika No.2 Kampus UGM, Yogyakarta, 55281

<sup>2</sup>Balai Besar Kulit, Karet, dan Plastik, Kementerian Perindustrian  
Jl. Sokonandi No. 9, Yogyakarta, 55166

\*E-mail : [kiranadipta95@gmail.com](mailto:kiranadipta95@gmail.com)

### Abstract

*Nanosilica is often used in many sectors, such as pharmacy, ceramics, electronics, etc. Silica from geothermal power plant's solid waste is one of natural silica precursor that contain a lot of amorphous silica (~97% SiO<sub>2</sub>). In this work sol-gel method was used to prepare nanoparticle. Surfactant was added to the sol phase to control the size of particles. The purpose of this work was to investigate the effects of surfactant concentration (0,1% w/v, 0,2%w/v, and 0,4%w/v) on particle size of the resulting nanosilica and thermal decomposition of alkyl benzene sulfonate surfactant-remaining in the product- following the synthesis process. Particle Size Analyzer (PSA) was used to analyze the size of particles and thermal decomposition of the surfactant was measured using thermogravimetric analyser (TGA). The experimental results showed that particle size decreases with increasing of surfactant concentration and the optimum concentration was 0,4% w/v. Decomposition temperature of the surfactant was about 330° C.*

**Keywords:** silica, nanosilica, surfactant, decomposition.

### A. Pendahuluan

Perekayasaan material dengan mengubah ukuran partikel menjadi lebih kecil, saat ini sudah mulai diminati dan dikembangkan. Salah satu produk dari perekayasaan tersebut adalah nanosilika. Produk tersebut dinilai memiliki sifat fisik material yang lebih baik dan lebih menguntungkan dibandingkan dengan material yang memiliki ukuran lebih besar. Nanosilika sudah banyak dimanfaatkan dalam berbagai bidang seperti pada dunia medis, biologi, farmasi, pertanian, keramik, industri ban, cat, film, elektronik, dan lain-lain (Siswanto, dkk., 2012). Nanosilika diminati untuk dikembangkan karena kemudahannya dalam persiapan proses produksi dan prekursor yang digunakan mudah didapatkan. Prekursor silika yang digunakan dapat berasal dari sintesis seperti TEOS ataupun dari alam seperti sekam padi, tongkol jagung, pasir kuarsa, daun bambu, atau limbah padat geotermal (Aminullah, dkk., 2015; Galang, dkk., 2013; Gladys, 2017; Maria, 2012). Limbah padat geotermal umumnya mengandung silika dalam bentuk amorf yang dapat digunakan sebagai prekursor bahan silika (Nugroho, dkk., 2015). Di lapangan panas bumi, pengendapan silika menyebabkan permasalahan dan dapat mengganggu proses pembangkitan listrik. Silika ini jumlahnya cukup banyak dan merupakan potensi sumber silika yang murah (Geodipa Report, 2006).

Proses pembuatan nanosilika dapat dilakukan dengan berbagai macam metode, salah satunya adalah metode sol-gel. Metode sol-gel adalah metode yang digunakan untuk membentuk partikel dalam ukuran nano dengan memiliki dua fasa pembentukan yaitu sol dan gel (C. Jeffrey dan George, 1990). Metode sol-gel banyak dipilih karena memiliki tingkat stabilitas termal baik, stabilitas mekanik tinggi, tidak menghasilkan senyawa sisa, homogen, dan dapat dilakukan pada suhu rendah (Benny, 2011). Penambahan surfaktan pada metode sol-gel akan mempengaruhi ukuran partikel yang dihasilkan (L.P. Singh, dkk., 2011). Surfaktan adalah suatu molekul yang memiliki gugus hidrofilik dan gugus hidrofobik yang dapat mempersatukan minyak dan air (Jean, 2002). Beberapa surfaktan sudah pernah digunakan oleh beberapa peneliti diantaranya surfaktan *dodecyltrimethylammonium bromide* (DTAB), *tetradecyltrimethylammonium bromide* (TTAB), dan *cetyltrimethylammonium bromide* (CTAB) (L.P. Singh, dkk., 2011), surfaktan TRITON-X (Hariman, 2013) yang merupakan surfaktan kationik, dan surfaktan *sodium lignosulfate* (SLS) (M. Ridho, dkk., 2017) yang merupakan surfaktan anionik. Dari beberapa penelitian tersebut dihasilkan ukuran partikel yang berbeda-beda untuk tiap surfaktan. Salah satu surfaktan lainnya adalah surfaktan *alkyl benzene sulfonate* (ABS). Surfaktan ini merupakan salah satu jenis surfaktan anionik yang mudah ditemukan, relatif murah, memiliki sifat pendispersi yang baik,



dan mampu terserap dengan baik oleh permukaan solid apabila berada pada kondisi nilai pH yang rendah (Richard, 2006; Drew, 2006).

Akhir metode sol-gel, surfaktan yang tertinggal dalam produk perlu dihilangkan. Keberadaan surfaktan mempengaruhi sifat permukaan dan pori dari nanopartikel (Mohammad, dkk., 2016). Surfaktan dapat dihilangkan dengan berbagai cara salah satunya adalah dengan kalsinasi atau pemanasan. Kalsinasi merupakan salah satu cara yang umum dan efisien untuk dilakukan, namun perlu dilakukan pada suhu yang tepat agar tidak mempengaruhi ukuran, warna produk, dan struktur (Freddy, dkk., 2003). Suhu dekomposisi surfaktan dapat dianalisis pada kondisi non-isothermal melalui *thermogravimetric analyser* (TGA) (Freddy, dkk., 2003). Penelitian tentang dekomposisi surfaktan pernah dilakukan pada surfaktan *cetyltrimethylammonium bromide* (CTAB) dan *n-dodecyl-trimethylammonium bromide* (DTAB) pada sintesis MCM-41 dengan analisis TGA (Ana, dkk., 2015; Freddy, dkk., 2003). Diketahui suhu dekomposisi surfaktan maka penggunaan energi dapat lebih efisien, efektif, dan hasil produk akan lebih baik (Freddy, dkk., 2003).

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh konsentrasi surfaktan *alkyl benzene sulfonate* (ABS) terhadap ukuran partikel nanosilika dan penentuan suhu dekomposisi *alkyl benzene sulfonate* (ABS) pascasintesis melalui kalsinasi.

## B. Metode Penelitian

### B.1. Bahan Penelitian

Bahan penelitian adalah limbah padat geotermal dari PT GEO DIPA sebagai prekursor silika, NaOH (MERCK, 97%) sebagai pelarut silika, surfaktan *alkyl benzene sulfonate* (ABS) (Rhodacal, 96%), HCl (MERCK, 37%) sebagai pencuci silika dan pembuatan nanosilika, dan Akuades.

### B.2. Alat percobaan

Pada proses pembuatan nanosilika di laboratorium digunakan alat yaitu labu leher tiga 250 ml, thermometer, motor pengaduk, gelas ukur dengan ukuran 100 ml, 500 ml, dan 1000 ml, pengaduk kaca, ayakan 200 mesh (74  $\mu$ m), timbangan digital, *magnetic stirrer*, pipet ukur, pompa vakum, cawan cruise, oven, dan *furnace*. Analisis komposisi silika dengan *Energy Dispersive X-ray* (EDX) (Shimadzu EDX-8000). Analisis ukuran partikel dengan *Particle Size Analyzer* (PSA) (Horiba SZ-100). Sonifikasi dengan sonicator (Ultrasonic Homogenizer 300 V/T). Analisis suhu dekomposisi surfaktan dengan *Thermogravimetric Analyser* (TGA) (Diamond Perkin Elmer).

### B.3. Cara Penelitian

#### B.3.1. Pencucian Silika

Satu kilogram limbah padat geotermal diayak. Padatan yang lolos dicuci dengan HCl 0,1 M dan dicuci kembali dengan akuades hingga pH hasil pencucian mencapai 6-7. Padatan yang telah dicuci dipanaskan dalam oven selama 1 jam pada 100° C, dilanjutkan dengan pemanasan pada suhu 500° C selama 2 jam di dalam *furnace*. Sebanyak dua gram serbuk padatan hasil pencucian digunakan untuk analisis komposisi silika.

#### B.3.2. Pembuatan Nanosilika

Sepuluh gram limbah padat geotermal hasil pencucian dilarutkan dengan NaOH 1,5 N sebanyak 100 ml pada suhu 90° C selama 2 jam dan diaduk dengan motor pengaduk dengan kecepatan 300 rpm. Filtrat yang dihasilkan disaring dengan pompa vakum dan didapatkan natrium silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) yang merupakan fasa sol. Filtrat ditambahkan surfaktan *Alkyl Benzene Sulfonate* (ABS) (0,1% w/v, 0,2% w/v, dan 0,4% w/v) sambil diaduk di atas *magnetic stirrer* selama 1 jam. Hasil campuran dititrisi dengan HCl 2N hingga terbentuk gel. Gel yang terbentuk didiamkan selama 18 jam pada suhu ruangan dan kemudian dipanaskan dalam oven selama 6 jam pada suhu 90° C. Padatan gel dicuci dengan akuades sebanyak 6 kali dengan tiap kali pencucian sebanyak 150 ml. Padatan hasil pencucian dipanaskan di dalam oven pada suhu 120° C selama 6 jam dan didapatkan serbuk padatan silika yang dinamakan silika *as-synthetic*. Silika *as-synthetic* kemudian dipanaskan pada suhu 400° C (suhu dekomposisi surfaktan) selama 3 jam. Serbuk padatan putih yang terbentuk sebagian akan dilakukan analisis komposisi silika dan sebagian lainnya digunakan untuk analisis ukuran partikel dengan perlakuan tanpa sonifikasi dan sonifikasi selama 15 menit.

#### B.3.3. Penentuan Suhu Dekomposisi Surfaktan

Sejumlah padatan serbuk silika *as-synthetic* 0,4% w/v dipanaskan dengan *Thermogravimetric Analyser* (TGA) pada rentang suhu ruangan hingga 970° C dengan laju kenaikan suhu 10° C/menit. Suhu pemanasan yang digunakan untuk analisis *loss of ignition* (LOI) dilakukan sesuai dengan standar EN-12879 pada suhu 550° C selama 4 jam. Massa sampel untuk sebelum dan sesudah kalsinasi saat suhu dekomposisi surfaktan dan LOI dihitung nilai kehilangannya (*loss*) dan dibandingkan. Perhitungan *loss* dapat digunakan sesuai dengan rumus (1) :

$$\text{loss}(\%) = \frac{\text{massa sebelum kalsinasi} - \text{massa sesudah kalsinasi}}{\text{massa sebelum kalsinasi}} \times 10 \quad (1)$$

## C. Hasil dan Pembahasan

### C.1. Hasil Analisis Komposisi Silika Dengan Analisis EDX

Analisis komposisi silika atau  $\text{SiO}_2$  pada sampel limbah padat geotermal setelah pencucian dengan HCl dan pasca kalsinasi dapat dilihat pada Tabel 1. Komposisi silika pada limbah padat geotermal setelah pencucian didapatkan sebesar 97,298%. Padatan serbuk nanosilika yang telah dikalsinasi juga dianalisis sebagai pembandingan komposisi silika. Komposisi silika setelah kalsinasi dari Tabel 1 adalah sebesar 97,027%. Komposisi silika pada limbah padat geotermal apabila dibandingkan dengan sekam padi (82,14%  $\text{SiO}_2$ ) (Akeem dan Mutiu, 2017) dan daun bambu (74,49%  $\text{SiO}_2$ ) (Aminullah, dkk., 2015) memiliki kemurnian yang lebih tinggi dibandingkan dengan kedua bahan tersebut. Silika ( $\text{SiO}_2$ ) memiliki kelimpahan paling besar dibandingkan dengan senyawa lainnya dan  $\text{Al}_2\text{O}_3$  merupakan senyawa kedua terbesar yang terkandung di dalam limbah padat geotermal. Perlakuan pencucian dengan HCl dimaksudkan untuk mengurangi impuritas selain silika namun dari data didapatkan bahwa kadar silika setelah kalsinasi lebih rendah dibandingkan dengan setelah pencucian. Perbedaan komposisi silika sebesar 0,271% dapat disebabkan karena selama proses pembuatan nanosilika dimungkinkan terjadinya penambahan bahan-bahan kimia dari bahan surfaktan yang tidak terbakar sempurna.

**Tabel 1.** Hasil Analisis Komposisi Silika

Analisis	Komposisi setelah pencucian (%)	Komposisi setelah kalsinasi (%)
$\text{SiO}_2$	97,298	97,027
$\text{Al}_2\text{O}_3$	1,645	1,656
$\text{SO}_3$	0,437	0,494
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	0,279	0,348
$\text{K}_2\text{O}$	0,198	0,181
$\text{CaO}$	0,092	0,218
$\text{CuO}$	0,012	0,017
$\text{MnO}$	0,009	0,014
$\text{ZnO}$	0,007	0,015
$\text{PbO}$	0,005	0,007
Lainnya	0,018	0,023

### C.2. Pengaruh Konsentrasi Surfaktan Terhadap Ukuran Partikel

Hasil analisis ukuran partikel tanpa sonifikasi pada berbagai variasi konsentrasi surfaktan sebesar 0,1% w/v, 0,2% w/v, dan 0,4% w/v dapat dilihat pada Tabel 2. Hasil analisis menunjukkan bahwa semakin besar konsentrasi yang digunakan, maka ukuran partikel yang dihasilkan semakin kecil. Hal ini disebabkan karena adanya kemampuan surfaktan untuk membentuk misel. Misel terbentuk dikarenakan kemampuannya untuk dapat berinteraksi dengan permukaan padatan yang bebas dengan surfaktan (*surfactant-free*) dan dengan air. Bagian ekor surfaktan (*tail*) akan berinteraksi dengan permukaan padatan, sementara bagian kepala surfaktan akan berinteraksi dengan air. Hal ini akan menyebabkan misel dapat terbentuk sehingga penentuan ukuran partikel dapat terkontrol (Raoul, 2005). Misel akan terbentuk apabila konsentrasi surfaktan yang ditambahkan melebihi konsentrasi kritis misel atau *critical micelle concentration* (CMC). Nilai *critical micelle concentration* (CMC) untuk surfaktan *alkyl benzene sulfonate* (ABS) diketahui sebesar 533,4 mg/L atau sekitar  $533,4 \times 10^{-4}$  % w/v (Anondho, dkk., 2006) sehingga apabila konsentrasi surfaktan yang ditambahkan melebihi nilai CMC maka pada larutan sol tersebut akan terbentuk misel. Pada penelitian ini digunakan 3 macam konsentrasi surfaktan yang melebihi nilai CMC, sehingga misel dapat terbentuk dan perubahan ukuran partikel dapat terkontrol.

**Tabel 2.** Pengaruh Konsentrasi Surfaktan Terhadap Ukuran Partikel Sebelum dan Sesudah Sonifikasi

Konsentrasi (%) w/v)	Ukuran (nm)	
	Tanpa sonifikasi	Sonifikasi
0,1	2924	659,1
0,2	2901	Tidak dilakukan
0,4	2045	349,6

Analisis ukuran partikel juga ditambahkan dengan perlakuan sonifikasi yang dilakukan pada dua sampel dengan konsentrasi 0,1% w/v dan 0,4% w/v sebagai pembandingan perlakuan. Hasil yang didapatkan dapat dilihat pada Tabel 2. Didapatkan bahwa ukuran partikel untuk dua konsentrasi tersebut jauh lebih kecil dibandingkan dengan tanpa

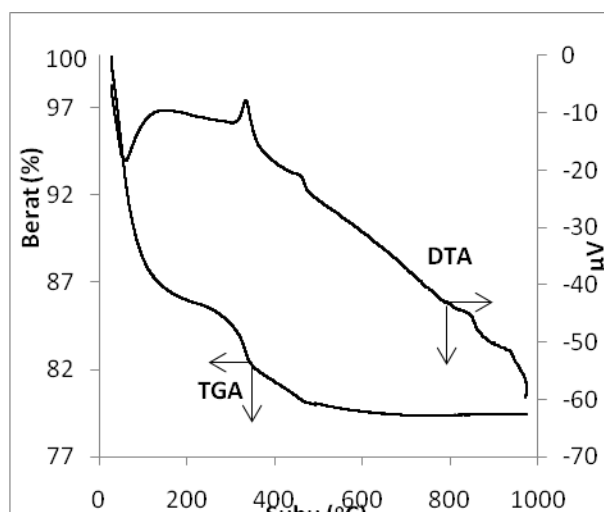
sonifikasi. Penambahan perlakuan sonifikasi dilakukan untuk memastikan bahwa partikel dapat terbebas dari partikel lain atau terdispersi secara sempurna menjadi partikel primer (*primary particle*), sehingga mampu memecahkan partikel yang teraglomerasi. Adanya getaran akibat sonifikasi menyebabkan terjadinya pembentukan gelembung air dengan cepat sehingga membantu memisahkan partikel yang teraglomerasi dan membantu padatan agar tetap dalam keadaan suspensi (K. Mingard, dkk., 2009; Erich, dkk., 2012).

### C.3. Suhu Dekomposisi Surfaktan

Penentuan suhu untuk dekomposisi atau kalsinasi pada surfaktan *alkyl benzene sulfonate* (ABS) dilakukan dengan *Thermogravimetric Analysis* (TGA). Hasil yang didapatkan dapat dilihat pada Gambar 1. Dari analisis TGA didapatkan bahwa pengurangan massa terjadi pada rentang suhu 27°C hingga 720°C. Pada suhu 49°C terjadi proses kehilangan air yang ditandai dengan terbentuknya puncak reaksi endotermik pada kurva DTA. Proses endotermik terjadi pada rentang suhu 40°C hingga 120°C. Surfaktan mulai mengalami dekomposisi terjadi pada suhu sekitar 330°C yang ditandai dengan terbentuknya puncak reaksi eksotermik pada kurva DTA. Proses dekomposisi terjadi pada rentang suhu 320°C hingga 360°C. Surfaktan yang telah terdekomposisi menghasilkan sisa padatan sekitar 65,3%; linier alkilbenzene sebesar 5,6%; campuran air dan sulfur organik sebesar 5,6%; dan campuran dari SO<sub>2</sub>, SO<sub>3</sub>, dan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> sebesar 2% (Hyung J, dkk., 2008).

Hasil analisis TGA menunjukkan bahwa total kehilangan massa akibat kalsinasi pada suhu 330°C adalah sekitar 15,2%. Berdasarkan hasil penelitian ini, proses penghilangan ABS direkomendasikan pada suhu tidak lebih dari 400°C. Hal ini dimaksudkan agar fasa silika yang terdapat pada produk nanosilika dapat dipertahankan dalam bentuk fasa amorf. Pada suhu yang lebih tinggi dikhawatirkan akan terjadi pembentukan fasa silika yang bersifat kristalin. Terjadinya perubahan fasa silika menjadi  $\beta$ -quartz dapat terbentuk minimal pada suhu 573°C (Abdul, dkk., 2012).

Pada penelitian ini, diharapkan bahwa kalsinasi pada suhu 400°C dapat menghilangkan seluruh senyawa organik (surfaktan). Untuk itu, kehilangan massa yang terjadi akibat kalsinasi pada suhu 400°C perlu dibandingkan dengan nilai *loss of ignition* (LOI). LOI ditentukan melalui kalsinasi mengacu pada standar EN-12879 yaitu pada suhu 550 $\pm$ 25°C (Swedish Institute for Standards, 2000). Analisis LOI bertujuan untuk mengetahui jumlah bahan organik yang dapat terbakar yang diasumsikan secara kasar sebagai *total organic carbon* (TOC) (Brian, 2002). Hasil penelitian menunjukkan bahwa kalsinasi pada suhu 400°C menghasilkan kehilangan massa total sebesar 19,6%. Nilai ini tidak terlalu jauh berbeda dibandingkan dengan nilai LOI yaitu sebesar 21,4%. Selisih kehilangan massa yang cukup kecil ini menunjukkan bahwa kalsinasi produk nanosilika pada suhu 400°C dianggap cukup untuk menghilangkan surfaktan ABS yang tertinggal di produk.



Gambar 1. Kurva TGA dan DTA untuk konsentrasi surfaktan 0,4% w/v

### Kesimpulan

Penambahan surfaktan *alkyl benzene sulfonate* (ABS) dalam proses pembuatan nanopartikel melalui metode sol gel dapat berfungsi sebagai pengontrol ukuran partikel. Semakin besar konsentrasi surfaktan ABS maka ukuran partikel yang dihasilkan semakin kecil. Penggunaan konsentrasi ABS sebesar 0,4% w/v dapat menghasilkan ukuran partikel terkecil yaitu 349,6 nm. Hasil analisis termal menunjukkan bahwa surfaktan *alkyl benzene sulfonate* (ABS) dapat terdekomposisi pada suhu 330°C.

### Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada PT GeoDipa Energi unit Dieng Jawa Tengah atas dukungannya untuk mendapatkan limbah padat geotermal sebagai bahan penelitian. Terima kasih juga penulis tujuan untuk Balai Besar Kulit, Karet, dan Plastik, Yogyakarta atas dukungan sebagai fasilitasi pada penelitian ini. Penulis juga berterimakasih kepada Pusat Penelitian Panasbumi UGM atas dukungannya dalam penelitian ini.

### Daftar Pustaka

- Abdul Rachman, Frank Edwin, Pius Sebleku. Karakterisasi Pasir Silika Cibadak Sukabumi Sebagai Bahan Baku Pembuatan *Ramming Mx Silica*. Majalah Metalurgi 2012; V: 263-272.
- Akeem A. Raheem, Mutiu A. Kareem. Chemical Composition and Physical Characteristic of Rice Husk Ash Blended Cement. International Journal of Engineering Research in Africa 2017; 32: 25-35
- Aminullah, Eti Rohaeti, Irzaman. Reduction of High Purity Silicon from Bamboo leaf as Basic Material in Develoepment of Sensors Manufacture in Satellite Technology. Procedia Environmental Sciences 2015; 24: 308-316.
- Ana-Maria Putz, Savii Cecilia, Catalin Lanasi, Zoltan Dudas, Kinga Noemi Szekely, Jiri Plocek, Paula Sfarloaga, Liviu Sacarescu, Laszlo Almasy. Pore Ordering In Mesoporous Matrices Induced By Different Directing Agents. Journal of Porous Materials 2015; 22: 321-331.
- Anondho Wijanarko, Praswasti Pembangun Dyah Kencana Wulan, Willy Chandra, Dianursanti, Song Seung Koo, Mahmud Sudibandriyo, Misri Gozan. Adsorption of Alkyl Benzene Sulfonate Surfactant on Activated carbon For Biobarrier Purpose. 1<sup>st</sup> International Conference on Natural Resources Engineering & Technology 2006 : 584-590.
- Benny Rio Fernandez. Makalah Sintesis Nanopartikel, Program Studi Teknik Kimia, Pascasarjana Universitas Andalas, Padang, 2011.
- Brian A. Schumacher. Methods for the Determination of Total Organic Carbon (Toc) in Soils and Sediments, 2002. [bcdota.who.edu/LaurentianGreatLakes\\_Chemistry/bs116.pdf](http://bcdota.who.edu/LaurentianGreatLakes_Chemistry/bs116.pdf) (diakses 11 Maret 2019).
- C. Jeffrey Brinker, George W. Scherer. Sol-Gel Science The Physics and Chemistry of Sol-Gel Processing. London: Academic Press, Inc: 2. 1990.
- Drew Meyers. Surfactant Science and Technology. 3rd ed. Canada: John Wiley and Sons, Inc. 2006: 48-49.
- Erich.D, Rodríguez, Lourdes Soriano, Jordi Payá, María Victoria Borrachero, dan José M. Monzó. Increase of the reactivity of densified silica fume by sonication treatment. Ultrasonics Sonochemistry 2012; 19:1099-1107.
- Freddy Kleitz, W Schmidt, F Sch. Calcination Behavior of Different Surfactant-Templated Mesoporous Silica Materials. Microporous and Mesoporous Materials 2003; 65: 1-29.
- Galang Fajar Agung M., Muhammad Rizal Hanafie Sy, Primata Mardina. Ekstraksi Silika Dari Abu Sekam Padi Dengan Pelarut KOH. Konversi 2013; 2 (1): 28-31.
- Geodipa Report. Preventions and Solutions for the Scale Problem at the Geothermal Power Plant and CDM Study in Indonesia Study Report February 2006 Engineering and Consulting Firms Association , Japan Tohoku Electric Power Co ., Inc, Report Study. Jepang, 2006
- Gladys Ayu Paramita Kusumah Wardhani. Karakterisasi Silika pada Tongkol Jagung Dengan Spektroskopi Infra Merah dan Difraksi Sinar-X. Jurnal Kimia Riset 2017; 2 (1): 37-42.
- Hariman Hi. Djumat. Sintesis Nano-Silika dari Abu Gunungapi Merapi dengan Polietilen Glikol P-(1,1,3,3-Tetrametilbutil)-Fenil Eter (Triton X100). Universitas Gadjah Mada, tesis, 2013.
- Hyung J. Lee, Kyun Y. Park, Surk-Sik Moon, Jong-Gi Lee. Decomposition of Waste Linear Alkylbenzene Sulfonate. Ind. Eng. Chem. Res 2008; 47:8412-8415.
- Jean-Louis Salaguer. Surfactants, Types and Uses. Laboratory of Formulation, Interfaces, Rheology and Processes 2002; 2: 1-49.
- K. Mingard, R Morrell, P Jackson, S Lawson, S Patel, R Buxton. Measurement Good Practice Guide no.111, Good Practice Guide for Improving the Consistency of Particle Size Measurement. Teddington: National Physical laboratory. 2009.
- L. P. Singh, S. K. Bhattacharyya, dan G. Mishra. Functional Role of Cationic Surfactant to Control the Nano Size of Silica Powder. Appl Nanosci 2011; 1: 117-122.
- M. Ridho Ulya, Indra Perdana, Panut Mulyono. Pengaruh Penambahan Surfaktan Sodium Lignosulfonat ( SLS ) dalam Proses Pengendapan Nano Calcium Silicate ( NCS ) dari Geothermal Brine. Jurnal Rekayasa Proses 2017; 11 (2): 12-19.
- Maria Christina Prihatiningsih. Pembuatan MCM-48 Tercangkok Gugus Amine dari Silika Limbah Padat Geotermal untuk Penjerap Karbondioksida. Universitas Gadjah Mada, tesis, 2012.
- Mohammad Teymouri, Abdolraouf Samadi-Maybodi, Amir Vahid. A soft and Efficient Approach for Removal of Template from Mesoporous silica using Benzene Sulfonamide. Journal of Nanoanalysis 201; 3 (01): 26-33.





- Nugroho Agung Pambudi, Ryuichi Itoi, Rie Yamashiro, Boy Yoseph CSS Syah Alam, Loren Tusara, Saeid Jalilinasrabad, Jaelani Khasani. The Behavior of Silica in Geothermal Brine from Dieng Geothermal Power Plant, Indonesia. *Geothermics* 2015; 54: 109-114.
- Raoul Zana. *Dynamics of Surfactant Self-Assemblies : Micelles, Microemulsions, Vesicles, and Lyotropic Phases*. 125th edn. Boca Raton: CRC Press. 2005:6.
- Richard J Farn. *Chemistry and Technology of Surfactants*. India: Blackwell Publishing Ltd. 2006:25.
- Siswanto, Moh. Hamzah A., Fausiah. *Perekayasa Nanosilika Berbahan Baku Silika Lokal Sebagai Filler Kompon Karet Rubber Air Bag Peluncur Kapal dari Galangan*. Prosiding InSINas 2012: 56-59.
- Swedish Institute for Standards. SVENSK Standard SS-EN 12879. <https://www.sis.se/api/document/preview/28686/> (diakses 14 Maret 2019)



## Lembar Tanya Jawab

**Moderator** : Hesty Rimadianny (Badan Pengawas Tenaga Nuklir)  
**Notulen** : Wibiana Wulan Nandari (UPN "Veteran" Yogyakarta)

- 1 Penanya : Robertinus Filustra Siregar (UPN "Veteran" Yogyakarta)  
  
Pertanyaan : Untuk mencapai suhu kalsinasi 330°C, Waktu Kalsinasi dimulai dari awal dinyalakannya furnace atau dari suhu mencapai 330°C ?  
Dari hasil FTIR, Apakah masih mengandung gugus surfaktan?  
Jawaban : Waktu dimulai dari suhu sudah mencapai 330 °C, namun disarankan suhunya untuk penelitian selanjutnya yaitu 400°C.  
Dibuktikan dengan uji FTIR, pada puncak terdapat gugus alkena dan tidak mengandung gugus surfaktan.
- 2 Penanya : Faris Tegar Wicaksono (UPN "Veteran" Yogyakarta)  
  
Pertanyaan : Dalam sintesis nano silika, apakah ada metode lain selain soal gel?  
Apa pertimbangannya sehingga Anda memilih metode soal gel?  
Jawaban : Ada metode lain, namun saya memilih metode ini karena:
  - Bisa dibuat pada suhu lebih rendah dari metode lain
  - Tidak menghasilkan produk samping
  - Homogen
  - Stabilitas mekanik lebih baik
  - Kontrol lebih mudah
- 3 Penanya : Hesty Rimadianny  
  
Saran : Mohon gambar diperjelas.  
Hasil analisis komposisi silika harus ada tanggal yang jelas, dilakukan di laboratorium mana, dan keterangannya apa.